GESTION DES NEMATODES A GALLES : LUTTE CONVENTIONNELLE ET LUTTES ALTERNATIVES. L'ATOUT DES PLANTES PIEGES.

par Caroline Djian-Caporalino*, Hélène Védie** et Alain Arrufat***
**INRA UMR Interactions Biotiques et Santé Végétale (IBSV) INRA / UNSA / CNRS*
400, Route des Chappes, Les Templiers, BP 167, F-06903 Sophia Antipolis Cedex
***GRAB Groupe de Recherche en Agriculture Biologique, B.P 1222, F-84911 Avignon Cedex 9*
****CIVAMBIO66, 19 Avenue de Grande Bretagne, F-66025 Perpignan Cedex*
E-mails: Caroline.Caporalino@sophia.inra.fr, *Helene.Vedie@grab.fr, arrufat.civambio.66@wanadoo.fr*

INTRODUCTION

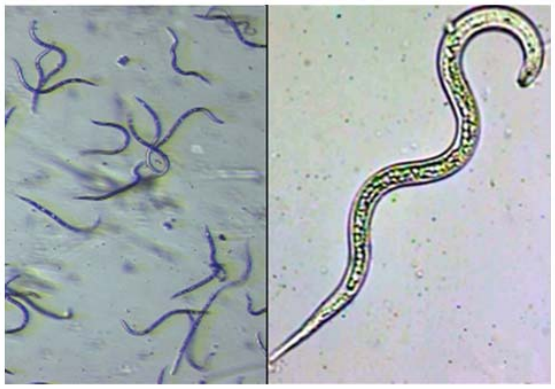

Figure 1 – Larves de *Meloidogyne* vues à la loupe binoculaire (taille = 0,2 mm) *(Photos INRA Sophia Antipolis)*

Les nématodes à galles des racines sont de redoutables bio-agresseurs.
D'abord on ne les voit pas : ce sont des vers microscopiques (***Figure 1***) telluriques, c'est-à-dire vivant dans le sol, et les galles qu'ils provoquent aux racines étant cachées sous terre, il est bien tard pour agir quand on voit les plantes dépérir.
Ensuite, vivant dans le sol et la plupart du temps à l'intérieur des racines, ils sont difficiles à atteindre.
De plus, ils ont une **incidence économique très importante** à l'échelle mondiale car ils sont largement répandues sur le globe et s'attaquent aussi bien aux grandes cultures (céréales, pommes de terre, betteraves...), qu'aux cultures maraîchères, florales et fruitières. Le problème est particulièrement préoccupant dans les jardins potagers et les systèmes maraîchers méditerranéens (Espagne, Afrique du nord, Sud de la France...) où les conditions optimales de leur développement sont réunies : températures élevées et successions de plantes sensibles (salades, cucurbitacées, solanacées…).
Enfin, le problème était déjà présent dans les exploitations menées en agriculture biologique. Du fait des restrictions d'emploi ou de l'interdiction des nématicides chimiques, le problème se révèle de plus en plus préoccupant même dans les exploitations menées en conventionnel et peut devenir dramatique dans les années à venir.

Alors, en agriculture biologique mais aussi conventionnelle, comment gérer ces nématodes ?

Plusieurs méthodes alternatives de contrôle (désinfection vapeur, solarisation, antagonistes naturels, plantes toxiques, résistance génétique…) font l'objet d'expérimentations en Europe et aux États-Unis principalement. Ces méthodes sont décrites et évaluées ci-dessous.

1. BIOLOGIE DES NÉMATODES À GALLES

Les nématodes à galles sont des endoparasites sédentaires[1] dont le cycle de vie se déroule en 2 phases (***Figure 2***): une **phase d'invasion racinaire** au stade larvaire et une **phase d'élaboration d'un site nourricier** au niveau du cylindre central de la racine (où est véhiculée la sève) permettant **l'établissement du parasite**. Ce **site nourricier** induit par les sécrétions salivaires du nématode est constitué de 5 à 6 cellules hypertrophiées (**cellules géantes**) qui lui permet d'accomplir son cycle sans avoir à se déplacer (le nématode n'aura en effet qu'à ponctionner avec son stylet buccal dans ces cellules géantes pour se nourrir).

En **3 à 8 semaines (selon la température)**, les larves deviennent des femelles obèses (petites poires blanchâtres de diamètre inférieur à 1 mm) qui pondent à l'extérieur de la racine de **300 à 3000 oeufs** protégés dans une gangue mucilagineuse. **Plusieurs cycles** peuvent se succéder en une année et l'infestation peut alors atteindre **100 à 200000 larves par kg de sol**, s'étalant sur des **profondeurs pouvant être supérieures à 30 cm** (DeGuiran, 1983).

Tous les œufs n'éclosent pas en même temps et peuvent **résister au froid et à la sécheresse** pendant plusieurs années (jusqu'à 5-6 ans). Néanmoins lorsque les températures sont basses, l'infestation se développe lentement. C'est le cas en culture « hivernale » de salade sous abri.

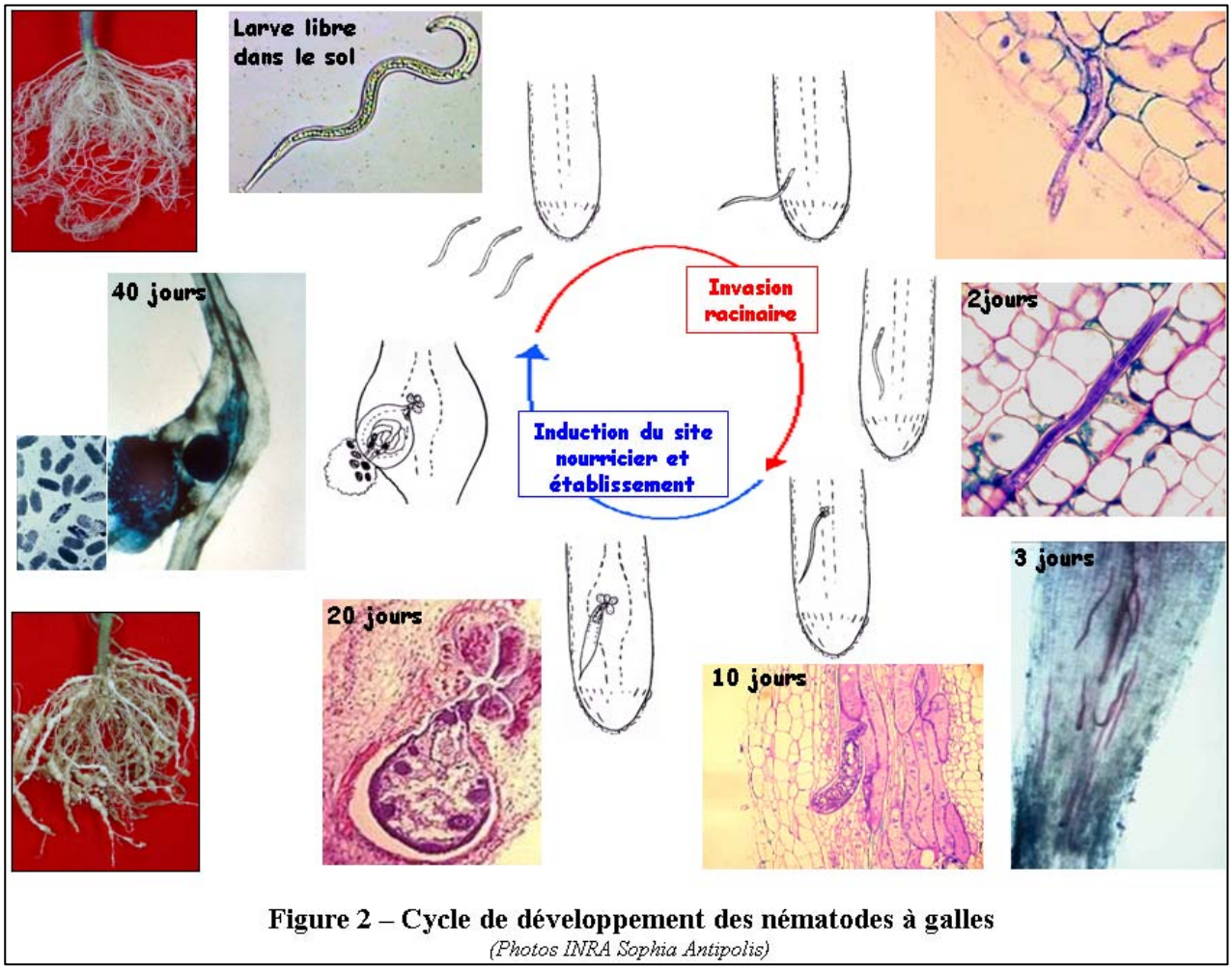

Figure 2 – Cycle de développement des nématodes à galles
(Photos INRA Sophia Antipolis)

[1] La larve fraîchement éclose pénètre entièrement dans la racine et y accomplie l'ensemble de son cycle. Seuls les œufs sont émis à l'extérieur de la racine.

2. SYMPTÔMES ET DÉGÂTS SUR CULTURES

L'augmentation de volume des cellules corticales, jouxtant les cellules géantes du site nourricier, conduit à la formation d'une **galle typique** de l'infection par *Meloidogyne*. En cas d'infestation forte, les galles peuvent envahir tout le système racinaire (***Figure 3***), perturbant l'absorption hydrique et minérale de la plante, tandis que le chevelu disparaît.

On estime les dégâts par des **indices de galles** compris entre 0 et 10 en fonction des attaques (***Tableau 1***).

Tableau 1 – Système de notation des indices de galles pour estimer les dégâts dus aux nématodes à galles du genre Meloidogyne (selon Netscher et Sikora, 1990)

0	système racinaire complet et sain ; pas d'infestation	1	très peu de galles de petite taille
2	petites galles plus facilement détectables	3	nombreuses petites galles ; chevelu racinaire encore complet
4	nombreuses petites galles ; quelques grosses galles ; système racinaire fonctionnant encore	5	25% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus
6	50% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus	7	75% du système racinaire comportant des galles et ne fonctionnant plus
8	quasiment plus de radicelles ; chapelets de grosses galles sur les racines principales ; la plante ne peut plus se nourrir	9	système racinaire réduit et rempli de grosses galles empêchant la plante de se nourrir
10	plante et racines mortes		

Ces dégâts sont d'autant plus importants que la population est plus élevée au moment où l'on installe la culture. Si la population de départ est faible, la plante ne subit généralement pas de dégâts la première année. Cependant le parasite se multiplie à un point tel que la culture peut subir de graves dégâts dès la 2ème année, plus ou moins vite selon les conditions de sol, de climat et la sensibilité de la culture. Le **« seuil de nuisibilité » ou « limite de tolérance » de la plante** est d'environ 100 à 1000 individus par kg de sol ou 10 à 100 par g de racine (DeGuiran, 1983). On assiste alors à une forte **diminution de la partie aérienne**, due à la réduction des racines, qui se présente souvent par **taches dans un champ** et **la récolte peut parfois être réduite à néant** (***Figure 3***).

Figure 3 – Dégâts sur racines de tomate, carottes, concombre, laitue, et sur tomates en serre et melons en plein champ
(photos INRA Sophia Antipolis)

3. IMPORTANCE ÉCONOMIQUE

Les ***Meloidogyne*** parasitent **plus de 5500 espèces de plantes** (Blok et al., 2008) et sont largement répandues sur le globe. Les espèces les plus couramment rencontrées en région méditerranéenne sont ***M. incognita* et *M. arenaria***. Elles se multiplient très rapidement par parthénogénèse (reproduction assexuée). Leur température optimale se situe entre 15°C et 33°C. Elles sont particulièrement préoccupantes dans les **systèmes maraîchers méditerranéens** où les conditions optimales de leur développement sont réunies : températures élevées et successions de plantes sensibles (salades, cucurbitacées, solanacées…). Les cultures les plus sensibles sont les **tomates, aubergines, poivrons, pommes de terre, melons, concombres, laitues, chicorées, haricots, carottes**... Les attaques sont plus fortes en **sols sableux, légers, ou pauvres en matières organiques**. On rencontre parfois *M. hapla* bien qu'il soit plutôt inféodé aux régions plus nordiques de la France où la température annuelle est en moyenne inférieure à 15°C (sur pomme-de-terre, betteraves, carottes, céleri, rosiers, arbres fruitiers, laitues…). Les galles sont plus petites et il se multiplie plutôt par reproduction sexuée. Il provoque dans le même temps de nombreuses bifurcations de radicelles.

Les dégâts dus aux *Meloidogyne* sont **difficilement chiffrables** en raison des nombreuses interactions les liant à d'autres pathogènes fongiques ou bactériens (***Phytophthora, Rhizoctonia, Pythium, Fusarium, Pseudomonas, Agrobacterium***, etc) favorisés par les lésions induites par l'entrée des nématodes. En outre, ils dépendent pour beaucoup du système de culture utilisé. Au niveau mondial, on estime les pertes à 100 milliards de dollars par an (Sasser et al, 1987). En Europe, ils sont responsables de dégâts atteignant **10% de la production céréalière** et entraînent des diminutions de récoltes de **20 à 30% dans les vergers d'agrumes méditerranéens** (Feldmesser, 1971). En **cultures maraîchères**, le problème est déjà très important dans certaines exploitations menées en agriculture biologique. Du fait des restrictions d'emploi des nématicides chimiques, le problème se révèle **de plus en plus préoccupant** même dans les exploitations menées en conventionnel et peut devenir **dramatique dans les années à venir**. On note ainsi un regain d'intérêt de la profession pour la recherche de méthodes alternatives. Une **enquête** menée par l'équipe Interaction Plantes Nématodes de l'INRA de Sophia Antipolis visant à établir la situation actuelle du problème en **région PACA** et la répartition sur le terrain des populations a donc été lancée en 2007 et se poursuit actuellement[2]. Elle pourrait également être élargie à d'autres régions du Sud de la France à la demande des chambres d'agriculture concernées.

4. LES MESURES PROPHYLACTIQUES : NECESSAIRES MAIS PAS SUFFISANTES

Toutes mesures prophylactiques sont un préalable indispensable pour limiter les infestations.

4.1. La gestion des outils de travail du sol

Les foyers d'infestation de nématodes à galles, souvent proches des entrées des tunnels et le long des lignes de travail du sol, traduisent une dissémination par le matériel et les personnes. Ainsi, le **nettoyage des outils, roues du tracteur, chaussures des personnes**, etc, lors du passage d'une parcelle contaminée à une parcelle saine est une des clés de la lutte contre les nématodes. Un **rinçage** soigneux à l'eau si possible additionnée d'un peu d'alcool ou de javel est suffisant.

[2] Pour participer à l'enquête, des fiches sont disponibles sur le site Web de l'INRA de Sophia Antipolis: http://www2.sophia.inra.fr/enquete_nematodes, et alimentent une base de données créée par Xavier Bernardet, responsable de l'équipe informatique du centre INRA de Sophia Antipolis.

4.2. L'environnement des abris

La polyphagie des nématodes conduit de nombreux adventices à y être sensibles. Certaines **mauvaises herbes** (amarante, morelle, chénopodes, rumex…) permettent donc aux populations de nématodes de se maintenir. Il est donc **très important de les éliminer** de la parcelle mais également aux abords des tunnels.

4.3. La gestion de l'irrigation

La maîtrise de l'irrigation est un élément important du contrôle des nématodes : il s'agit d'**éviter les excès d'eau,** voie favorable à leur dissémination. Les arrosages à la raie par exemple sont à proscrire.

5. LUTTE CHIMIQUE : FACE A LA LOI

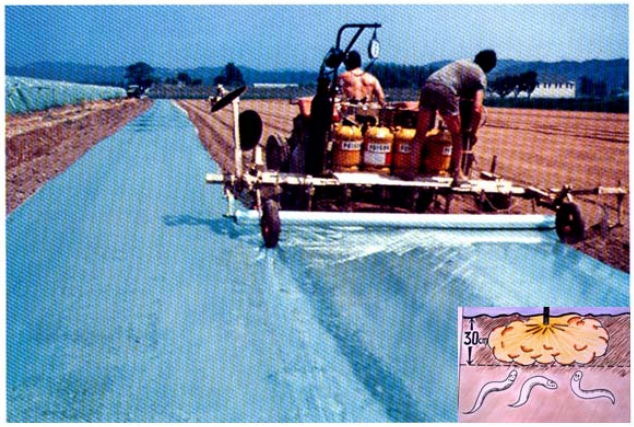

Figure 4 – Désinfection chimique au moyen de fumigants nématicides
(photo INRA et dessin de J.C. Cayrol)

En raison de l'extrême résistance de ces parasites, de leur grande variabilité physiologique et du fait qu'ils sont telluriques, il est **très difficile de les combattre**. On utilisait jusqu'à présent des nématicides chimiques **bromés ou chlorés (fumigants)** ou des **produits phosphorés**, extrêmement toxiques, onéreux, d'application difficile et pas toujours efficaces.

L'évolution actuelle des législations compromet l'avenir des **nématicides chimiques** du fait des **problèmes** qu'ils peuvent poser au **niveau sanitaire ou environnemental** (réduction de la couche d'ozone, polluant de l'air et des nappes phréatiques, toxicité humaine et animale). De plus, ne traitant que les 20 à 30 premiers cm de sol (***Figure 4***), ils ne détruisent pas les nématodes des couches profondes qui remontent et attaquent la culture suivante, nécessitant des **traitements répétés**.

Le bromure de méthyle, extrêmement toxique et polluant, est interdit de production depuis 2005. Sa non inscription votée en mai 2008 est effective. L'écoulement des stocks reste possible dans quelques cas et pour peu de temps. Les derniers délais de distribution expirent le 30 septembre 2009, moins d'un mois après la sortie de cet article. L'utilisation est possible jusqu'au 18 mars 2010 sur quelques usages (fraisier, carottes…).

Le 1,3-dichloropropène n'est plus inscrit à l'annexe I de la directive européenne n° 91/414/CE du 15 juillet 1991 (vote de mai 2007) depuis le 12/03/2009 mais est encore utilisable jusqu'au 21/07/2009.

L'éthoprophos est toujours inscrit mais la vente de produits en contenant (Mocap 10 G RP, Mocap 20) a cessé pour raison économique ! Les stocks sont utilisables jusqu'au 30 septembre 2009.

Les seuls nématicides chimiques homologués en maraîchage[3] sont des désinfectants à base de dazomet ou métam-sodium. Mais la noninscription de ce dernier ayant été proposée en février 2009, il est menacé de retrait.

Outre ces restrictions, une **taxe phytosanitaire pour "produits polluants"** est également payable depuis 2008 à l'Agence de l'eau[4].

Et les nouveaux produits ? Le diméthyl disulfide, dérivé de l'aillicine, est en cours de tests (fin prévue vers 2013) ; des autorisations dérogatoires provisoires ont été accordées à l'Atomal07, de Cerexagri SA (article R253-50 du code rural).

6. LUTTE ALTERNATIVE AU MOYEN DE MÉTHODES DITES « PHYSIQUES »

6.1 La désinfection vapeur : une question de coût

Réalisée sous bâche (***Figure 5***) ou à l'aide de coffres, elle consiste à stériliser les sols par **injection de vapeur d'eau sous pression**. Les durées de désinfection préconisées vont de 3 à 8 heures. Son coût freine son adoption.

Figure 5 – Désinfection vapeur *(photos INRA Sophia Antipolis)*

Comme la lutte chimique, elle ne désinfecte pas en profondeur. Il faut donc la réaliser peu après la récolte (les nématodes sont encore dans les horizons superficiels du sol), puis éviter un travail du sol trop profond qui ferait remonter en surface du sol non désinfecté. Il faut également désinfecter le sol après chaque culture de printemps.

Son efficacité dépend du type de sol : elle est meilleure dans les sols à texture grossière, plus favorables à la diffusion de la vapeur.

6.2 La solarisation : France, courte saison

Valorisant l'énergie solaire grâce à un **film plastique** (***Figure 6***) permettant d'augmenter l'impact du rayonnement sur le sol et générer de la chaleur par **effet de serre**, elle est moins coûteuse que la désinfection vapeur. Néanmoins, en France, la période la plus favorable à sa mise en place se situe **entre le 15 juin et le 31 juillet** et la période minimale de solarisation est de **45 jours**. jours… Créneau étroit !

Figure 6 – Solarisation en plein champ et sous abri
(photo GRAB)

L'**efficacité** de cette lutte est également **très variable** selon le type de sol et sa préparation : il faut une structure fine comme pour un semis et arrosage intensif avant la pose du film plastique pour que l'eau diffuse la chaleur en profondeur.

[3] sources au 24/06/09: http://e-phy.agriculture.gouv.fr/; Fiches ACTA 2008 ; V.irginie Grzesiak, DRAF-SRPV Languedoc-Roussillon.

[4] la taxe est de 15 à 50 centimes/l, soit jusqu'à 100 € de taxe par bidon de 200 l de dazomet ou métam sodium par exemple.

7. LUTTE BIOLOGIQUE AU MOYEN D'AUXILIAIRES NATURELS : PAS AU POINT

La lutte biologique contre les nématodes consiste à limiter le taux d'infestation au dessous du niveau dommageable aux plantes ('**seuil de nuisibilité**'). Elle ne permettra pas une éradication du parasite.

7.1. Les champignons nématophages

Les nématodes sont naturellement attaqués par beaucoup de micro-organismes du sol.

Des essais de lutte biologique au moyen du champignon nématophage prédateur ***Arthrobotrys irregularis*** (brevet INRA), capable de prendre au piège des nématodes et de s'en nourrir (***Figure 7***), avaient permis sa commercialisation dans les années 80 par des sociétés productrices de champignons de couche. Des exigences de conservation (chaîne du froid) et des conditions particulières pour son implantation dans le sol (pH, salinité, quantité de matière organique, nombre et pouvoir compétitif des antagonistes) n'ont pas permis le développement et la réussite escomptés. De nouvelles souches plus performantes, une technique de production moins onéreuse, et une méthode de conservation sans chaîne de froid (formulation sèche sous forme de granulés), font l'objet d'actuelles recherches par une société suisse (Casale chemical SA[5]).

Figure 7 – Le champignon *Arthrobotrys* prédateur de larves de *Meloidogyne* produit sur billes *(dessin J.C. Cayrol et photo E. Panchaud-Mirabel)*

De même, un champignon parasite des oeufs de *Meloidogyne*, ***Paecilomyces lilacinus*** a été largement étudié (***Figure 8***). Il n'est cependant utilisé qu'aux Philippines, en Afrique du Sud et en Angleterre et n'est actif qu'en sols acides. Un autre champignon ***Verticillium (Pocconia) chlamydosporium***, parasite des oeufs de *Meloidogyne,* est étudié mais est encore loin d'être commercialisé en France. Il montre une bonne efficacité en conditions tropicales mais moins bonne dans les conditions du sud de l'Europe.

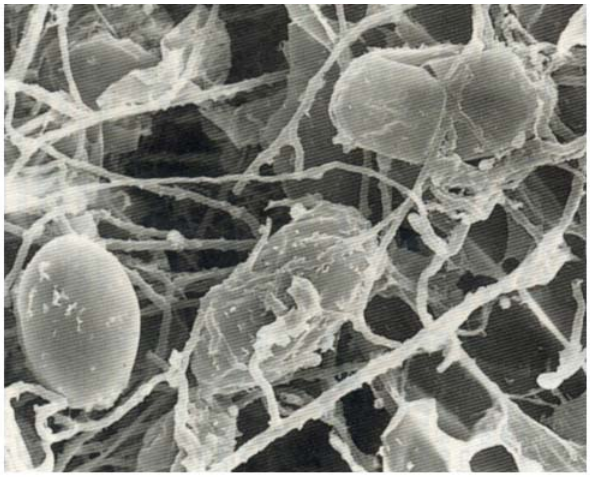

Figure 8 – Le champignon *Paecilomyces lilacinus* parasitant des œufs de *Meloidogyne* *(photo INRA Sophia Antipolis)*

[5] contact : Elisabeth Panchaud-Mirabel, Casale chemical S.A., e-mail elisabeth.mirabel@wanadoo.fr

7.2. Les bactéries parasites

Les spores de la bactérie mycélienne ***Pasteuria penetrans*** sont capables de parasiter les *Meloidogyne* et bloquer leur multiplication (***Figure 9***). Cependant leur trop grande spécificité et des problèmes de production en masse limite fortement leur utilisation.

Figure 9 – Des bactéries *Pasteuria penetrans* collées sur une larve de *Meloidogyne* *(photo INRA)*

7.3. Les mycorhizes (genre *Glomus* en particulier)

Ce sont des champignons qui vivent en association symbiotique avec les racines (***Figure 10***). Ils permettent une meilleure nutrition de la plante, stimulent l'enracinement des boutures et la croissance des racines lors de la transplantation, diminuent la sensibilité des plantes aux agents pathogènes et seraient des antagonistes intra-racinaires des nématodes mais l'efficacité de cette méthode n'est pas réellement prouvée.

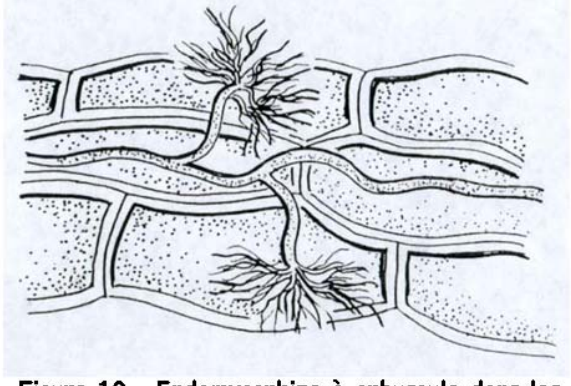

Figure 10 – Endomycorhize à arbuscule dans les cellules d'une racine *(dessin J.C. Cayrol)*

L'avantage de la lutte biologique au moyen d'auxiliaires est qu'elle ne nécessite théoriquement qu'un seul apport même si le temps que l'agent biologique s'installe dans le sol est relativement long. Cependant, de nombreuses **contraintes** freinent son développement (difficultés de production, formulation, stockage, mise en œuvre, coût, maintien dans le sol, manque de fiabilité, **efficacité variable** en fonction des espèces de *Meloidogyne*, du type de sol et des méthodes culturales utilisées). Aucun produit n'est commercialisé en France, mais des **essais** d'homologation avec *Arthrobotrys **conoïdes*** sont **en cours**.

8. LUTTE BIOLOGIQUE AU MOYEN DE TOXINES DE PLANTES NÉMATICIDES : ENCORE LIMITÉE

Plus de **200 espèces de plantes** sont signalées pour leurs propriétés **nématicides** (Djian-Caporalino *et al.* 2008). Les substances actives peuvent être exsudées au niveau racinaire et agir soit en inhibant la pénétration des juvéniles dans les racines (effet répulsif du **sésame**), soit en inhibant l'éclosion des oeufs (effet ovicide de la **graminée *Eragrostis curvula***), soit en empoisonnant les nématodes (effet larvicide de la **pervenche de Madagascar *Catharanthus roseus***).

8.1. Les biopesticides

Des **extraits de crotalaires, d'ail, d'oignon, de poireau, de Yucca** ont montré une bonne activité contre les nématodes au laboratoire. Cependant, aucun effet n'a été relevé avec ces molécules

en culture de tomate (Védie *et al.*, 2006). La vitesse de dégradation des produits dans le sol et l'intensité d'infestation des sites peuvent expliquer ces **mauvais résultats en conditions agronomiques**. De nouveaux essais sont en cours avec le diméthyl disulfure (**DMDS**), produit de dégradation de l'aillicine bien que sa production soit réalisée par synthèse chimique.

8.2. Les tourteaux et amendements organiques : la « biofumigation »

Les essais menés par le GRAB entre 1998 et 2000 ont montré que l'**apport printanier sur plusieurs** années de tourteaux végétaux de **neem** et de **ricin** pouvait avoir une **action cumulative** intéressante. Les résultats étaient cependant aléatoires selon les années et les sites, et peu intéressants lorsque les infestations étaient très fortes. Des études montrent également que les apports de **matière organique compostée** (végétale ou animale) améliorent le sol, augmentent la tolérance des plantes aux nématodes et ont une action bénéfique sur les prédateurs ou parasites de nématodes présents naturellement dans le sol. Les **substances volatiles** produites par lors de leur décomposition (biofumigation) auraient un effet sur les nématodes à galles. Cependant, les résultats sont **variables selon les types de sol et la température** qui jouent sur la dégradation de la matière organique.

Toutes ces méthodes prises individuellement ne permettent pas un bon contrôle des nématodes à galles. Des **combinaisons de méthodes (lutte intégrée)** sont conseillées : une prophylaxie préalable indispensable, puis par exemple une désinfection vapeur et l'apport d'un auxiliaire naturel qui s'installera plus facilement en l'absence d'antagonistes, ou encore une solarisation et une biofumigation pour accélérer la libération des toxines. Néanmoins, sans une bonne gestion des rotations culturales introduisant des plantes « de coupure » du cycle du nématode, il sera difficile de lutter de manière durable.

9. STRATÉGIES DE CONTRÔLE PAR LA GESTION DES ROTATIONS CULTURALES

Les dégâts les plus importants dus aux nématodes sont observés là où une culture hôte a été cultivée trop fréquemment. Les successions salades-cucurbitacées (melon, concombre, courgette, courge…) ou salades-solanacées (tomate, aubergine…), qui se maintiennent en Provence pour des raisons commerciales, en est l'exemple parfait.

Une meilleure gestion des rotations introduisant des plantes « de coupure » ou des plantes «pièges » en culture ou en interculture permettrait d'améliorer l'état sanitaire du sol en réduisant son taux d'infestation. C'est la stratégie qui semble actuellement la plus facilement réalisable et la plus prometteuse pour contrôler ces parasites

On peut considérer 3 types de plantes « pièges » contre les nématodes à galles.

9.1. Les plantes « pièges » sensibles

Ce sont des plantes qui vont **attirer les nématodes et qu'on détruira avant que ces derniers n'aient accompli leur cycle de développement**. On se base sur le fait que les nématodes à galles sont des endoparasites sédentaires, donc que les larves qui ont pénétré dans les racines et ont commencé à grossir ne peuvent ressortir. *A priori*, n'importe quelle plante sensible pourrait être employée si elle est détruite à temps. L'utilisation de telles plantes nécessite néanmoins un contrôle continu des racines ou un enregistrement des températures du sol pour être sûr d'éliminer la plante « piège » sensible avant que le nématode ait pu produire ses œufs à l'extérieur de la racine, c'est-à-dire en **3 semaines environ en été**. En hiver, les températures froides n'étant pas favorables à leur développement, ce cycle peut durer au moins 3 mois ce qui peut permettre de cultiver des plantes à cycle de développement court

(inférieur à la durée du cycle du nématode). L'arrachage complet des racines et leur élimination ou un traitement herbicide systémique est nécessaire. Un simple travail du sol au rotovator risque de permettre aux femelles de poursuivre leur développement et de produire des œufs.

Un rapport récent de l'Université de Davis en Californie pour la fondation Slosson (Slosson Final Report 2007-2008) montre que cette technique, bien que ne permettant pas un contrôle complet des nématodes, peut être employée avec succès dans les jardins de particuliers. Le rapport indique que les **carottes** (*Daucus carota*, famille des *Apiaceae*) sont de très bons pièges qu'il faut détruire 2 à 3 semaines maximum après plantation.

Les **laitues** (*Lactuca* sp., *Asteraceae*) sont aussi utilisées comme plantes « pièges » dans le nord-est de l'Espagne (Ornat *et al.* 2001) lorsqu'elles sont plantées tardivement en octobre ou novembre au lieu de septembre. Elles sont aussi utilisées avec le **radis** (*Raphanus sativus*, *Brassicaceae*) comme plantes « pièges » dans les jardins péri-urbains de Cuba (Cuadra *et al.*, 2000).

Cette méthode est néanmoins très délicate à conseiller car le problème peut empirer si la plante n'est pas détruite à temps.

9.2. Les plantes « pièges » mauvais hôtes

Ce sont des plantes qui vont **attirer** les nématodes mais les empêcheront d'accomplir leur cycle, soit **en les empoisonnant** (toxines néoformées, phytoalexines : substances antibiotiques produites par la plante en réaction à une infection), soit **en ne leur fournissant pas les éléments indispensables au développement** des femelles (ce qui favorise parfois le développement de mâles).

La polyphagie des nématodes fait qu'il est très difficile de trouver des plantes réellement non-hôtes et on en connaît peu susceptibles d'être introduites dans les rotations culturales maraîchères. D'après une enquête réalisée par le GRAB en 2008 auprès de producteurs du sud de la France et auprès d'experts, certaines *Liliaceae* (**ail, oignon, poireau**), *Brassicaceae* (**navet, moutarde, colza**), *Apiaceae* (**fenouil, coriandre**), *Rosaceae* (**fraise**) ou *Valérianaceae* (**mâche**) pourraient être utilisées contre les 2 principales espèces de *Meloidogyne* rencontrées dans le sud de la France et le pourtour méditerranéen (*M. incognita* et *M. arenaria*) (***Tableau 2***). L'**asperge** *Asparagus officinalis* (*Liliaceae*) et la **roquette** *Eruca sativa* (*Brassicaceae*) pourraient être utilisées contre *M. hapla*, une espèce plutôt rencontrée dans le nord de la France (Védie et Aïssa-Madani, 2008 ; Djian-Caporalino *et al.*, 2009). Néanmoins, certaines de ces plantes données mauvais hôtes ou non hôtes dans la bibliographie ou les observations de terrains s'avèrent parfois sensibles : c'est leur **plantations précoces au printemps** (avant février), et **tardives à l'automne** (fin octobre) qui font qu'elles sont moins attaquées, les conditions thermiques de l'hiver n'étant pas favorables aux nématodes, d'où un risque à les utiliser hors de ces périodes. Cela limite leur utilisation dans les rotations. Des **essais** se poursuivent actuellement au **GRAB** (Védie & Aïssa-Madani, 2008) et au **CIVAM Bio** (Arrufat, 2008) pour conseiller les meilleures plantes à utiliser et les durées et dates de plantation les plus appropriées pour réduire les populations de nématodes.

Tableau 2 : Espèces non-hôtes ou mauvais-hôtes de Meloidogyne incognita et M. arenaria

Famille botanique	Espèces peu à pas sensibles (étude bibliographique, enquête et essai 2008)**	Espèces à valider (divergences d'opinion entre les enquêtés)
Apiacées	fenouil, coriandre	céleri-rave, panais, carotte*, persil*
Brassicacées	Navet, moutarde blanche, colza	chou-rave*, roquette
Chénopodiacées	épinard*	
Liliacées	ail, oignon, asperge	poireau, ciboulette, échalote
Rosacées		fraise
Valérianacées		mâche

* cultures pour lesquelles des galles sont parfois observées
** experts: T. Mateille, IRD de Montpellier; A. Buisson, LNPV de Rennes, C. Caporalino & A. Arrufat; enquête réalisée en 2008 par H. Védie chez 14 producteurs en agriculture biologique dans les régions PACA et Languedoc-Rousillon ; essai mis en place en 2008 chez un producteur du Gard dont les tunnels sont fortement infestés par *Meloidogyne arenaria*

Beaucoup d'espèces utilisables comme **engrais vert**, cultivées entre deux périodes de production de cultures commerciales, puis enfouies dans le sol pour améliorer sa structure et augmenter le taux de matière organique, sont également des plantes non-hôtes ou mauvais-hôte de nématodes (Djian-Caporalino *et al.*, 2008). C'est le cas des **phacélies** *Phacelia spp.* (*Hydrophyllaceae*) également « pièges » à nitrates, de l'**avoine** *Avena sativa*, du **millet perlé** *Pennisetum glaucum*, et du **sorgho fourrager** *Sorghum bicolor* (*Poaceae*), de la **moutarde blanche** *Sinapsis alba* et du **radis fourrager** *Raphanus sativus* (*Brassicaceae)*. Des essais menés par le GRAB donnent cependant des **résultats variables** et montrent que les engrais verts nématicides ont une **efficacité relativement limitée sur le court terme** (Védie *et al.*, 2006) (***Figure 11***). Diverses *Fabaceae* (**crotalaires** *Crotalaria* spp., **cytise des Indes ou pois du Congo** *Cajanus cajan*, **arachide** *Arachis hypogaea,* **soja** *Glycine max* sont utilisées en Afrique, en Amérique du sud, en Chine, ou aux Indes (***Figure 11***). Les plantes tropicales ou semi-tropicales telles que les crotalaires sont néanmoins difficiles à se procurer et ne se développent pas suffisamment sous notre climat pour procurer un bon effet « piège». Elles pourraient néanmoins trouver usage en serriculture.

Figure 11 – Plantes « pièges » mauvais hôtes : millet perle, sorgho et radis fourragers, moutarde blanche, phacélies, crotalaires, pois du Congo, arachide *(photos GRAB et INRA)*

Dans les jardins potagers, d'anciennes plantes comestibles peuvent être ré-employées. La **morelle de balbis ou tomate litchi** *Solanum sisymbriifolium* (*Solanaceae*) (***Figure 12***) est une très bonne plante « piège » de *M. fallax* et *M. chitwoodi*, 2 espèces du nord de l'Europe (organisme de quarantaine en France mais dont certains foyers ont été décelés), car elle stimule l'éclosion des œufs mais ne permet pas le développement des larves dans ses racines (PCN Control Group, 2004). Le **concombre cornu d'Afrique ou métulon ou Kiwano de Nouvelle-Zélande** *Cucumis metuliferus* (*Cucurbitaceae*) (***Figure 12)***, plante grimpante annuelle que l'on cultive pour ses fruits ornementaux et comestibles est également connue comme plante « piège » aux Etats-Unis, en Afrique et en Israël (Walters *et al.*, 1993) et pourrait être testé dans nos potagers.

Figure 12 – Plantes « pièges » mauvais hôtes : tomate litchi et concombre cornu d'Afrique *(photos Elsa Sidawy et Ferme de Sainte Marthe)*

Néanmoins, les plus connues des plantes « pièges » sont sans doute les **tagètes** (*Asteraceae*) (***Figure 13***). Les propriétés nématicides de ces plantes, qui bloquent le développement des larves dans les racines, sont connues des civilisations d'Amérique centrale et du Sud depuis longtemps. L'**œillet d'Inde** *Tagetes patula*, la **rose d'Inde** *T. erecta* (originaires d'Amérique Centrale) et le **tagète des parfumeurs** *T. minuta* (plus adapté aux climats tempérés) sont les plus efficaces contre les nématodes, installés au pied des légumes ou enfouis comme engrais verts (Cayrol 1991). En introduisant une culture de *Tagetes erecta* ou de *T. patula* pendant 2 mois dans un assolement, à raison de 4 kg de semences /ha ou 20 plants au m^2, on réduirait de près de 90% les populations de *Meloidogyne spp* à condition que la température soit supérieure à 15°C. En culture associée, l'espacement préconisé est de 2 mètres entre les rangs de tagètes ou encore de deux plants de tagètes pour six plants de tomate. L'emploi de *Tagetes minuta* est plus compliqué. Il faut l'utiliser en culture dérobée ou associée (3 kg/ha) pendant 3 semaines, l'enfouir impérativement avant la floraison (les fleurs ont des petites glandes allergènes) et même avant qu'il ne monte en tiges (extrêmement ligneuses et montant jusqu'à 3 mètres). Il est plutôt efficace vis-à-vis de *M. incognita* et *M. javanica,* contrôle peu *M. hapla* et pas du tout *M. arenaria*.

Figure 13 – Asteraceae à installer au pied des légumes ou à enfouir comme engrais vert nématicide : tagètes (*T. erecta, T. patula et T. minuta*) (*photos INRA*)

D'autres *Asteraceae* telles que les **chrysanthèmes** *Chrysanthemum morifolium* ou les **cosmos** *Cosmos sulphureus* et *bipinnatus*, des Fabaceae ornementales telles que les **mucuna** *Mucuna* spp., le **stylosanthe grêle** *Stylosanthes gracilis*, des *Poaceae* (graminées) telles que le **gros Chiendent** *Cynodon dactylon*, ou les types ornementaux **élymes** *Elymus spp.* et **Barbon de Gérard (patte de dinde)** *Andropogon spp.* (***Figure 14***), auraient des effets similaires (Djian-Caporalino *et al.*, 2008).

Figure 14 – Plantes « pièges » mauvais hôtes : *Cosmos bipinatus* et *C. sulfureus*, stylosanthes grêles, élymes, mucuna, Barbons de Gérard *Andropogon scoparius et A. bicornis* *(photos ceniap.gov, C. Pessey, US Envir. Prot. Agency, InBio Bangor, Quartiercréole.ifrance.com)*

9.3. Les variétés ou porte-greffes résistants

Ce sont des variétés d'une espèce normalement sensible aux nématodes qui vont attirer les nématodes des couches profondes grâce à leurs exsudats racinaires puis les bloquer à l'intérieur de la racine par une **réaction d'hypersensibilité** (mort rapide et localisée des cellules végétales autour du nématode due à l'expression d'un **gène de résistance**). Cette réaction peut être précoce (empêche la migration des larves jusqu'au cylindre central de la racine, le privant ainsi de nourriture) ou tardive (empêche le développement du site nourricier indispensable au développent des nématodes) (Pegard *et al.*, 2005) (***Figure 15***). Cette méthode a l'avantage de combiner plusieurs avantages par rapport aux autres plantes « pièges » décrites précédemment : des cultures d'été saines (sans galles) et productives, une réduction efficace du taux d'infestation du sol, et donc des rotations de culture plus courtes[6] (***Figure 16***).

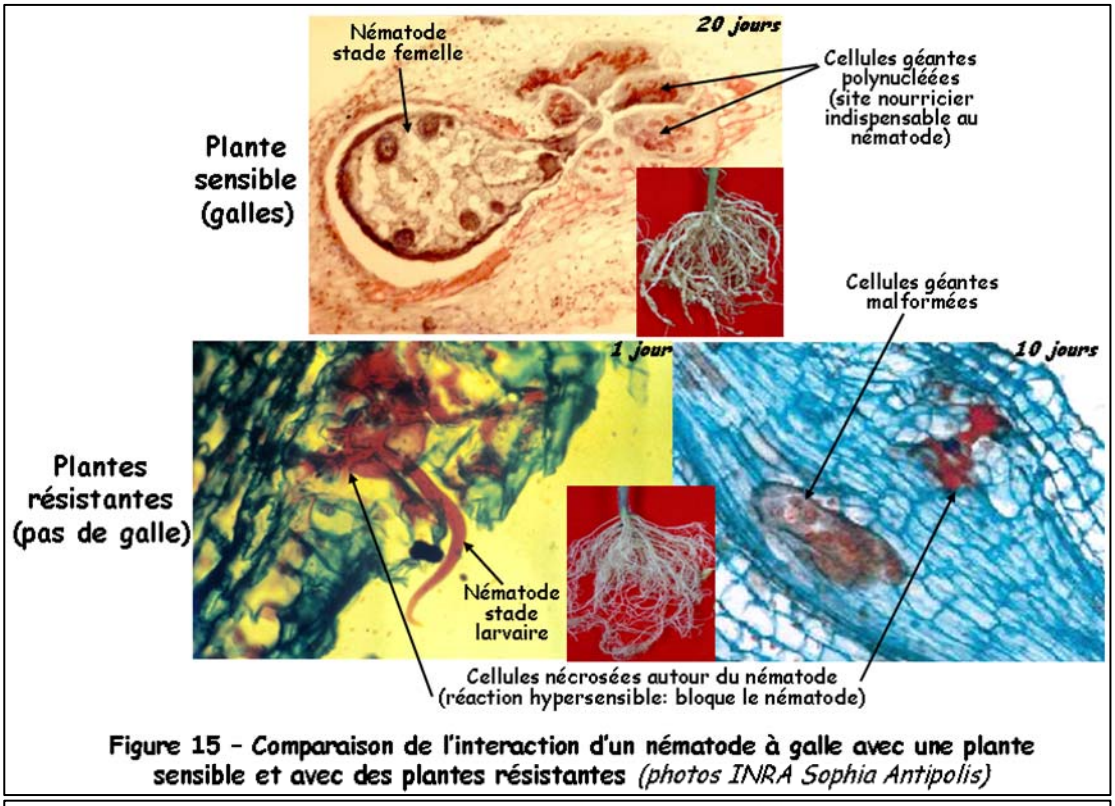

Figure 15 – Comparaison de l'interaction d'un nématode à galle avec une plante sensible et avec des plantes résistantes *(photos INRA Sophia Antipolis)*

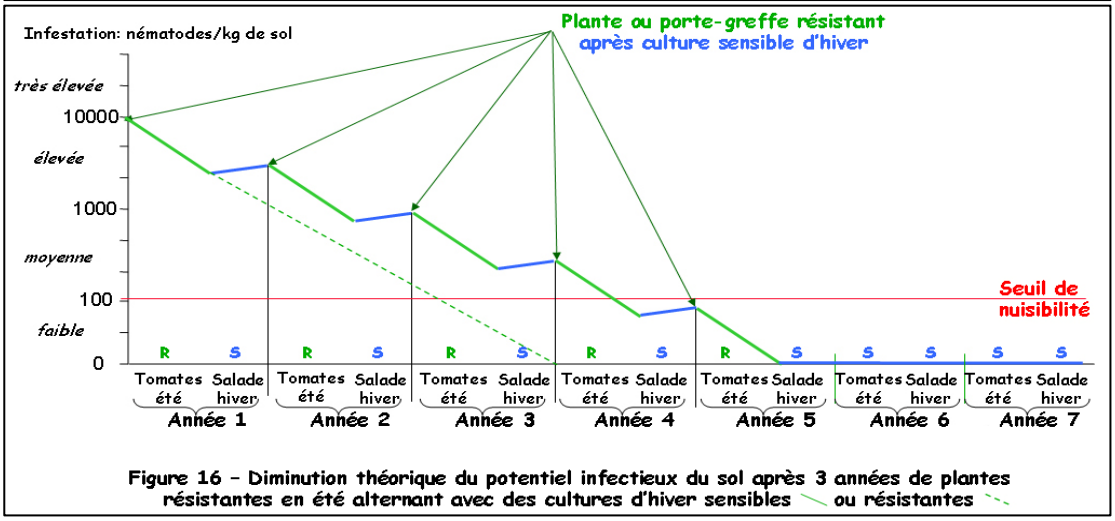

Figure 16 – Diminution théorique du potentiel infectieux du sol après 3 années de plantes résistantes en été alternant avec des cultures d'hiver sensibles ou résistantes

[6] L'enquête réalisée par l'Inra chez les producteurs maraîchers de la région Paca, ainsi que les premières expérimentations en serres, indiquent qu'en 4 à 5 ans, voire moins, on pourrait réduire suffisamment le potentiel infectieux de sols très fortement contaminés pour pouvoir refaire des successions de cultures sensibles. Des expérimentations effectuées par le CivamBio depuis plus de 10 ans avec des plantes non- hôtes ou mauvais-hôtes montrent que leur efficacité est variable et plus lente à obtenir.

Le Gène Mi-1, 60 ans de solitude…

Il existe **peu de cultures maraîchères naturellement résistantes** aux nématodes à galles. Pour le **concombre**, les **salades** ou la **carotte**, certaines variétés sont moins sensibles que d'autres (**résistances partielles**). Il existe également des **porte-greffes « courges »** apportant **plus de vigueur** aux Cucurbitacées permettant ainsi de minimiser les dégâts.

A ce jour, seulement quelques espèces de plantes ont montré des potentialités de **résistance totale** aux nématodes à galles: la **carotte** (gène *Mj-1*), le **coton** (gènes *MIC-3, rkn-1, Mi1*), les ***prunus*** (gènes *Ma*), la **tomate** (gènes *Mi*), la **pomme de terre** (gènes *Rmc1, MfaXII*), les **piments/poivrons** (gène *N* et gènes *Me*), (Djian-Caporalino *et al.*, 2008) (***Figure 17***). Une fois la lignée résistante choisie ("lignée sauvage donneuse"), plusieurs rétrocroisements avec la variété cultivée sensible ("lignée élite") seront alors nécessaires pour obtenir une "lignée convertie", se rapprochant le plus possible de la variété cultivée mais possédant le gène de résistance. A l'échelle mondiale, seul le gène ***Mi-1*** de la tomate (qui contrôle *M. incognita* et *M. arenaria* mais pas *M. hapla* et n'est pas actif au-delà de 32°C) est commercialisé à l'heure actuelle. Il a été introgressé il y a 60 ans à partir d'une seule plante sauvage dans toutes les **variétés de tomates résistantes** et les **porte-greffes résistants** actuellement disponibles pour la **tomate** ou l'**aubergine**. Ceci explique en partie la rapidité d'apparition et l'extension de **populations de *Meloidogyne* virulentes** (se multiplient sur plantes résistantes) **vis-à-vis de ce gène *Mi-1*** dans diverses régions du monde (Castagnone-Sereno P., 2002) risquant de réduire significativement la durée d'exploitation des variétés résistantes commercialisées.

Figure 17 – Plantes « pièges » résistantes (R) : prunus cerasifera *Ma1*, carotte *Mj-1* , pomme-de-terre *Rmc1*, piments *Me3*, tomate *Mi-1* (photos INRA)

L'INRA étudie de nouveaux gènes…

D'**autres sources de résistance** ont donc été recherchées et trouvées par l'INRA. Ainsi, chez le **piment/poivron**, **plusieurs gènes à large spectre d'action, robustes[7] et stables à haute température[8]** sont disponibles (Djian-Caporalino *et al.*, 1999, 2007) mais non encore diffusés dans les cultivars. Certaines de ces résistances sont non contournables malgré de très fortes infestations de *Meloidogyne* (mécanisme différent de *Mi-1*). Il reste donc des possibilités d'empêcher l'apparition de populations virulentes. Les chercheurs étudient donc, en conditions contrôlées (pièces climatiques et serres) (***Figure 18***), le mode d'action des gènes pour choisir les plus intéressants à combiner ("pyramider") dans un cultivar sensible, le contournement possible de ces gènes et dans quelles conditions, ainsi que l'impact de ces variétés résistantes sur les populations de nématodes dans le sol.

Ces études sont réalisées à l'INRA en collaboration avec des sociétés semencières dans le cadre de projets nationaux et européens (**contrat CTPS[9]** et projet RA4.2 du **Réseau Européen ENDURE[10]**),

[7] Robuste : efficace même sous forte pression d'inoculum

[8] Stable à haute température : actif quelque soit la température ; ce n'est pas le cas du gène *Mi-1* inactivé à partir de 32°C

[9] contrat CTPS (Comité technique permanent de la sélection végétale) « Durabilité des résistances aux nématodes chez les Solanacées (tomate, poivron) », 2007-2010, financements du **Ministère de l'Agriculture**.

la sélection pour la résistance aux nématodes étant un objectif prioritaire des programmes actuels d'amélioration des plantes maraîchères.

Des expérimentations en station expérimentale (site du CREAT de la Baronne (06)) et sur des parcelles d'agriculteurs (***Figure 18***) sont également menées pour étudier, en systèmes de culture légumiers, l'**effet de rotations avec des plantes « de coupure » (non-hôtes, mauvais-hôtes,** ou **résistantes)** combinant un effet **plante « piège », engrais vert et matière organique** et **évaluer le temps nécessaire à l'amélioration sanitaire du sol** (réduction des parasites sous leur "seuil de nuisibilité"). Les nouvelles variétés résistantes évaluées en conditions contrôlées seront également testées en tant que porte-greffes pour leur **résistance à *Phytophthora* et autres pathogènes** et pour leur **capacité à donner de la vigueur aux variétés greffées**. Ces travaux sont réalisés en collaboration étroite entre les centres INRA de Sophia Antipolis et d'Avignon[11], l'IRD[12] de Montpellier, et divers instituts techniques de la région PACA[13] (GRAB, APREL[14], chambres d'agriculture des départements 06, 13 et 84) (projets INRA PICLeg « Neoleg »[15] et projet ANR « Sysbiotel »[16]).

Les résultats permettront d'une part d'**orienter les sélectionneurs** dans la création de nouveaux porte-greffes ou cultivars résistants à long terme, d'autre part de **conseiller les exploitants** dans la meilleure façon de les gérer dans le temps et l'espace (mode d'emploi des variétés), afin de limiter les risques de contournement des résistances.

Cette **gestion des rotations introduisant des plantes « pièges »** non-hôtes ou résistantes semble actuellement la plus **prometteuse** pour contrôler les nématodes à galles.

Figure 18 – Expérimentation de piments résistants en conditions contrôlées (pièce climatique, serre) et en conditions naturelles (site expérimental du CREAT et parcelle d'agriculteur dans le 06)
(photos INRA)

[10] projet RA4.2 du Réseau Européen ENDURE « Développement durable d'une agriculture plus respectueuse de l'environnement – Exploitation de la résistance génétique naturelle des plantes », 2008-2009.

[11] Unité de Pathologie Végétale (URPV) – équipe mycologie, et Unité Sciences pour l'action et le développement (SAD) - équipe Ecodéveloppement.

[12] IRD : Institut pour la Recherche et le Développement.

[13] PACA: région Provence Alpes Côte d'Azur.

[14] APREL : Association provençale de recherche et d'expérimentation légumière de la région PACA (13).

[15] projet INRA PICLeg « Neoleg » : « Vers une nouvelle configuration des agrosystèmes maraîchers méditerranéens sous abri pour une gestion durable des bioagresseurs telluriques », 2008-2011.

[16] projet ANR (Agence Nationale de Recherche) « Sysbiotel » « Gestion intégrée des bioagresseurs telluriques en systèmes de culture légumiers », 2009-2012.

10. CONCLUSION

Il est très **difficile de combatte les nématodes, parasites microscopiques toujours cachés dans le sol ou la plante**. Depuis plusieurs années, les possibilités de contrôle par des pesticides de synthèse se réduisent pour des raisons à la fois réglementaires et économiques. On assiste donc à une **montée en puissance des problèmes en maraîchage sous abri**.

Plusieurs méthodes alternatives de contrôle (désinfection vapeur, solarisation, antagonistes naturels, biofumigation, intercultures, notamment) existent mais les expérimentations montrent aujourd'hui leurs limites, du fait de **l'insuffisante efficacité des techniques prises individuellement**. Elles ne pourront être efficaces que si on les **combine de manière raisonnée**. Ainsi une gestion intégrée de ces bioagresseurs telluriques incluant une **vigilance accrue**, un **contrôle continu**, des **mesures prophylactiques,** une **désinfection vapeur ou** une **solarisation** quand cela est possible, l'apport de fortes quantités de **matière organique** rapidement dégradable, et surtout une bonne gestion des **rotations introduisant des plantes « pièges « ou « de coupure »** et le développement de **nouvelles variétés résistantes** apparaissent indispensables pour parvenir à l'**amélioration sanitaire du sol** et au **contrôle de ce parasite** de manière **durable**.

BIBLIOGRAPHIE

- Arrufat A., 2008. Prévention contre les nématodes à galles en agriculture biologique : 10 années d'expérimentation. Journées Techniques Fruits et Légumes Biologiques, 16-17/12/2008, Montpellier, 87-89.
- Blok V.C., Jones J.T., Phillips M.S., Trudgill D.L., 2008. Parasitism genes and host range disparities in biotrophic nematodes: the conundrum of polyphagy versus specialisation. *BioEssays: news and reviews in molecular, cellular and developmental biology*, 30 (3): 249-59.
- Castagnone-Sereno P., 2002. Genetic variability of nematodes: a threat to the durability of plant resistance genes? *Euphytica*, 124, 193-199.
- Cayrol J.C., 1991. Les tagètes, plantes nématicides d'avenir. *Riveria Scientifique* : 35-42.
- Cuadra R., Cruz X., Fajardo J.L., 2000. The use of short cycle crops as trap crops for the control of root-knot nematodes. *Nematropica* 30, 241-246.
- De Guiran G., 1983. *Nématodes, les ennemis invisibles*. La Littorale S.A. (Ed.), France, 41pp.
- Djian-Caporalino C., 2008. Des pistes pour gérer les nématodes à galles. *Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes biologiques*. Montpellier Supagro, 16-17/12/2008: 77-84.
- Djian-Caporalino C., Bourdy G. et Cayrol J.C., 2008 (nouvelle édition). *Plantes nématicides et plantes résistantes aux nématodes*, p. 125-185. Dans: *Biopesticides d'origine végétale : potentialités phytosanitaires*. C. Regnault-Roger et al, Editions Tec & doc, Lavoisier, Paris, 546 pp.
- Djian-Caporalino C., Fazari A., Arguel M.J., Vernie T., VandeCasteele C., Faure I., Brunoud G., Pijarowski L., Palloix A., Lefebvre V. and Abad P., 2007. Root-knot nematode (*Meloidogyne* spp.) *Me* resistance genes in pepper (*Capsicum annuum* L.) are clustered on the P9 chromosome. *Theor. Appl. Genet.*, 114, 473-486.
- Djian-Caporalino C., Pijarowski L., Januel A., Lefebvre V., Phally T., Palloix A., Dalmasso A. and Abad P., 1999. Spectrum of resistance to root knot nematodes (*Meloidogyne spp.*) in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) and inheritance of heat-stable resistance in the PM687 line derived from PI 322719. *Theor. Appl. Genet.*, 99, 496-502.
- Feldmesser J., 1971. Estimated crop losses from plant-parasitic nematodes in the United States. Soc. Nematol. (USA) *Special Publication,* No. 1.

- Netscher C. et Sikora R.A., 1990. *Nematode parasites of vegetable in plant-parasitic nematodes in subropical agriculture*. *In* : Luc M, Sikora RA, Bridge J. *Plant Parasitic Nematodes in Subtropical Agriculture*. CAB International, London, 237-258.
- Ornat C., Sorribas F.J., Verdejo-Lucas S., Galeano M., 2001. Effects of planting date on development of *Meloidogyne javanica* on lettuce in northeastern Spain. *Nematropica* 31 (2): 148-149.
- PCN Control Group (2004). *Introducing Solanum sisymbriifolium as a trap crop for potato cyst nematodes in the UK*. Nematode Interaction Unit at Rothamsted Research. SA-LINK 112 Projects.
- Pegard A., Brizzard G., Fazari A., Soucaze O., Abad P., Djian-Caporalino C., 2005. Histological Characterization of Resistance to Different Root-knot Nematode species related to phenolics accumulation in *Capsicum annuum* L. *Phytopathology* 95 (2): 158-165.
- Sasser, J.N., Hartmen, K.M. and Freckman, D.W., 1987. Summary of Preliminary Crop Germplasm Evaluation for Resistance to Root-Knot Nematodes, pp. 1–88. Raleigh, NC: North Carolina State University andUS Agency for International Development.
- Slosson Final Report 2007-2008. *Trap Cropping Plus Bionematicides for Management of Root-knot Nematode in Home Gardens*. *Final Report for Slosson Foundation*. Investigator: Becky B. Westerdahl, Professor of Nematology, Department of Nematology, University of California, Davis: 6 pp
- Védie H., Aïssa-Madani A.C., 2008. Quelles plantes insérer dans les rotations pour diminuer les populations de nématodes à galles*? Journées Techniques Nationales Fruits et Légumes biologiques*. Montpellier Supagro, 16-17/12/2008, Montpellier Supagro: 69-75.
- Védie H., Geffroy T., and Lambion J., 2006. Lutte contre les nématodes a galles : test de différents engrais verts nématicides : compte-rendu d'essai 2005. Groupe de Recherche en Agriculture Biologique.
- Walters, S.A., Wehner, T.C., Barker, K.R., 1993. Root-knot nematode resistance in cucumber and horned cucumber. *HortScience* 28 (2): 151–154.

SUMMARY

Root-knot nematodes, The benefit of plant traps

In vegetable crop rotation systems, resistant crop varieties and non host plants are real nematode-traps, helping the direct means of control.

The article deals with the root-knot nematodes, *Meloidogyne* species that cause severe damage to crops worldwide and particularly to vegetable crops in France.
It describes the life cycle and biological elements of these fearsome soil-borne pests, the plant damage and their economic importance.
It evokes the difficulties of direct methods of control because the gradual ban on chemical nematicides and the partial efficacy of alternative methods (steam disinfection or solarization, biological control with natural enemies or biopesticides of plant origin).
It describes successful or promising research on the use of plants in vegetable crop rotation systems. These plant traps are either non-host and poor host plants, or resistant root-stock and crop varieties of the host species. They are combined with direct alternatives and prophylaxis in an integrated crop protection strategy.
Key words: root-knot nematodes, *Meloidogyne sp., M. incognita, M. arenaria, M. hapla*, gardening, prophylaxis, chemical nematicides, steam disinfection, solarization, biological control, biological agents, biopesticides of plant origin, rotation, trap plants, non-host plants, resistant crop varieties.

RÉSUMÉ

Nématodes à galles, l'atout des plantes pièges

En rotations légumières, les cultures résistantes et plantes non-hôtes, véritables pièges à nématodes, à la rescousse des moyens directs de lutte

L'article évoque les nématodes à galle des racines : espèces du genre *Meloidogyne*. Il rappelle des éléments de biologie de ces redoutables bio-agresseurs des cultures dans le monde et en particulier des cultures maraîchères en France, le type de dégâts et leur importance économique.
Il évoque les difficultés de la lutte directe, du fait des restrictions sur les nématicides chimiques et des limites de chaque moyen alternatif pris isolément (désinfection vapeur ou solarisation, lutte biologique à l'aide d'auxiliaires ou de nématicides issus de végétaux).
Il cite des recherches abouties ou prometteuses sur l'usage de plantes vivantes dans les rotations maraîchères. Ces plantes pièges sont, soit des plantes non hôtes ou mauvais hôtes, soit des variétés ou porte-greffe résistants des espèces hôtes. Elles sont associées aux moyens directs et à l'indispensable prophylaxie dans une stratégie de lutte intégrée.
Mots-clés : nématodes à galle des racines, *Meloidogyne sp., M. incognita, M. arenaria, M. hapla* , maraîchage, prophylaxie, nématicides chimiques, désinfection vapeur, solarisation, lutte biologique, auxiliaires, nématicides végétaux, rotation, plantes pièges, plantes non-hôtes, résistance variétale.